

COMPARACIÓN DE LOS VALORES OBTENIDOS EN ZONAS CONTRASTADAS CLIMÁTICAMENTE EN LA PENÍNSULA IBÉRICA UTILIZANDO DIFERENTES MODELOS PARA EL CÁLCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN

María Desamparados SORIANO SOTO¹, Vicente PONS MARTI², Laura GARCÍA-ESPAÑA SORIANO¹,

Josep LLINARES PALACIOS³

¹*Depto. de Producción Vegetal. Universitat Politècnica de Valencia*

²*Depto. de Edafología. Universitat de Valencia*

³*Depto. de Química. Universitat Politècnica de Valencia*

asoriano@prv.upv.es, laugar@hotmail.com, vpons@uv.es, jollipa@quim.upv.es

RESUMEN

Se determina la evapotranspiración potencial por los métodos de Penman, Hargreaves, Turc y Thornthwaite en estaciones climáticas de diferentes áreas en la península ibérica localizadas en zonas contrastadas climáticamente. Se comparan los resultados obtenidos por los diferentes modelos indicando similitud de resultados entre valores anuales y estacionales y valora la adecuación de los diferentes métodos para poder ser utilizados en estudios de cálculo de necesidades de agua aplicados a los cultivos.

Los resultados nos ayudan a caracterizar las zonas con valores máximos y mínimos de evapotranspiración mostrando diferencias estacionales y anuales entre áreas y métodos utilizados. Se establecen correlaciones entre los valores de evapotranspiración potencial obtenidos en los modelos utilizados.

Palabras clave: Evapotranspiración, estaciones climáticas, modelos climáticos.

ABSTRACT

Penman, Hargreaves, Thornthwaite and Turc methods are applied for determining potential evapotranspiration values in different climatic stations located in well-controlled areas of the Iberian peninsula. The results obtained by different models show similarity between the station and yearly values. The different methods are evaluated for their usefulness to calculate water demand in crops.

The results allow for characterizing the zones with the highest and lowest evapotranspiration values showing significant differences as a function of the applied method. Correlations between potential evapotranspiration values and the employed method are established.

Key words: Evapotranspiration, climatic stations, climatic models.

1. INTRODUCCIÓN

La evapotranspiración es el proceso por el cual la superficie terrestre devuelve a la atmósfera el agua que se evapora de mares, lagos, ríos y principalmente de grandes extensiones de agua.

En el cálculo de la ETP resulta difícil realizar estimaciones precisas al influir en su cálculo numerosos factores (Fernández, 1995; González del Tánago, 2005). Habría que considerar tanto factores climáticos, como características del cultivo, tipo, edad, distribución, transferencia de masa y energía, de ahí la importancia de la elección del modelo a utilizar (Sánchez, 2000; Xu et al., 2005; Doorembos et al., 1990).

La gran cantidad de índices, diagramas y modelos existentes (Abdelhadi, et al., 2000; Berengena, et al., 2005; Bautista, et al., 2009; Gavilan et al., 2006), hacen necesario estudios previos para poder realizar la recomendación de alguno de ellos, para aplicar en las estaciones meteorológicas existentes y su posterior interpolación.

En el presente estudio se calcula la evapotranspiración utilizando los métodos de Penman, Hargreaves, Turc y Thornthwaite utilizando los datos de diferentes estaciones climáticas distribuidas en zonas contrastadas de la Península Ibérica (MARM, 2012).

Los resultados indican áreas marcadas con notables diferencias entre los valores de evapotranspiración anuales y estacionales, así como entre modelos estudiados.

2. METODOLOGÍA

Se utilizan los modelos de Thornthwaite (1948), Turc (1961), Hargreaves y Samani, 1985) y Penman (FAO 56) para el cálculo de evapotranspiración.

El método de Thornthwaite (1948), simplifica el cálculo de evapotranspiración en función de la temperatura media y latitud, Turc propone calcular la evapotranspiración potencial en función de la radiación solar, la temperatura media mensual y la humedad relativa. El método de Penman precisa valores de insolación y de humedad relativa. Mientras que Hargreaves utiliza parámetros térmicos y radiación solar.

En el presente trabajo se estudian las características climáticas de las provincias de Soria, Burgos, Córdoba, Cádiz, Almería e Islas Baleares desde el punto de vista del cálculo de la evapotranspiración comparando los resultados entre estaciones climáticas de la península, bañadas por el mediterráneo con respecto al interior.

Se han calculado los valores de evapotranspiración aplicando los cuatro modelos a las estaciones seleccionadas en zonas contrastadas climáticamente distribuidas en provincias de Andalucía como Córdoba (Adamuz, Bélmez, Hinojosa del Duque), Cádiz (Conil de Frontera, Jerez de la Frontera, Villamartín, San Lúcar de Barrameda) y Almería (Cuevas de Almanzora, Níjar) en Castilla-León Soria (Almazán, Fuentecantos, Hinojosa del campo, San Esteban de Gormaz) y Burgos (Condado de Treviño, Santa Gadea del Cid, Tardajos, Vadocondes, Valle de Losa, Valle de Valdelucio) y en Baleares (Manacor, Arta, Calviá, Es Mercadal, Felanitx, Inca, Sa Pobla, Santa Eulalia, Sóller, S'estany des Peix).

Se calcula la distribución de los valores máximos y mínimos de evapotranspiración en las zonas estudiadas, mostrando diferencias estacionales entre zonas y métodos utilizados.

| Estación | Longitud (° ') | Latitud (° ') | Altitud (m) |
|------------------------|-----------------|----------------|-------------|
| ANDALUCÍA | | | |
| Hinojosa del Duque | 5°15'W | 38°05'N | 552 |
| Bélmez | 3°38'W | 37°15'N | 977 |
| Cuevas de Almanzora | 1°08'W | 37°03'N | 62 |
| Conil de Frontera | 6°05'W | 36°16'N | 1 |
| Adamuz | 4°31'W | 38°02'N | 202 |
| Villamartín | 5°38'W | 36°52'N | 188 |
| San Lúcar de Barrameda | 6°21'W | 36°47'N | 11 |
| Níjar | 2°12'W | 36°58'N | 1 |
| Jerez de la Frontera | 6°08'W | 36°41'N | 196 |
| Almería | 0°11'W | 38°58'N | 16 |
| BALEARES | | | |
| Sóller | 2°41'W | 39°48'N | 1 |
| Es Mercadal | 4°05'W | 39°59'N | 2 |
| Sa Pobla | 3°03'W | 39°30'N | 119 |
| Artá | 0°39'W | 38°57'N | 283 |
| Inca | 2°91'W | 39°71'N | 116 |
| Manacor | 4°26'W | 39°57'N | 75 |
| Calviá | 2°50'W | 39°56'N | 114 |
| Santa Eulalia | 1°53'W | 38°58'N | 14 |
| Felanitx | 3°14'W | 39°46'N | 45 |
| S'Estany des Peix | 0°16'W | 39°04'N | 116 |
| CASTILLA-LEÓN | | | |
| Valle de Losa | 3°22'W | 42°34'N | 622 |
| Valle de Valdelucio | 4°09'W | 42°63'N | 347 |
| Tardajos | 3°81'W | 42°34'N | 843 |
| Fuentecantos | 3°68'W | 41°39'N | 692 |
| Hinojosa del Campo | 2°08'W | 41°54'N | 1019 |
| Almazán | 2°53'W | 41°48'N | 929 |
| Lerma | 3°45'E | 42°02'N | 963 |
| Santa Gadea del Cid | 3°05'W | 42°59'N | 547 |
| Condado de Treviño | 2°42'W | 42°07'N | 575 |
| Vadacondes | 2°20'W | 42°47'N | 483 |
| San Esteban de Gormaz | 3°12'E | 41°35'N | 854 |

TABLA 1: Localización y altitud de las estaciones climáticas utilizadas para el estudio.

3. RESULTADOS

Los resultados de la aplicación de los modelos empíricos en la zona de Baleares se muestran en las figuras 1, 2 y 3, donde se representan los valores totales anuales de evapotranspiración, los valores estacionales y los mensuales.

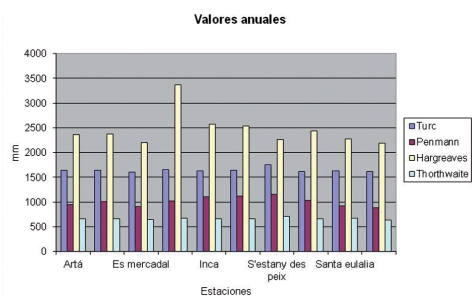


FIG. 1: *Valores anuales de evapotranspiración en Baleares.*

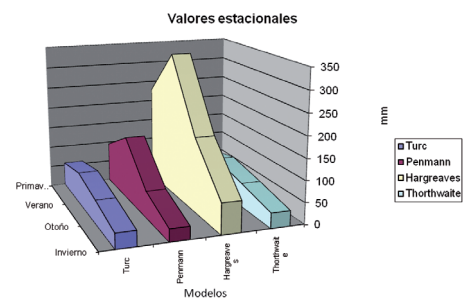


FIG. 2: *Valores estacionales medios de evapotranspiración en Baleares.*

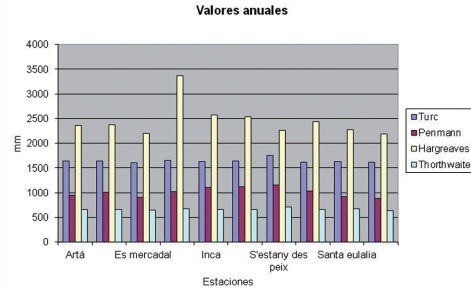


FIG. 3: *Valores mensuales medios de evapotranspiración en las estaciones de Baleares.*

Los resultados de la aplicación de los modelos empíricos en las estaciones de la zona de Andalucía se muestran en las figuras 4, 5 y 6, donde se representan los valores anuales de evapotranspiración, los valores medios estacionales y mensuales.

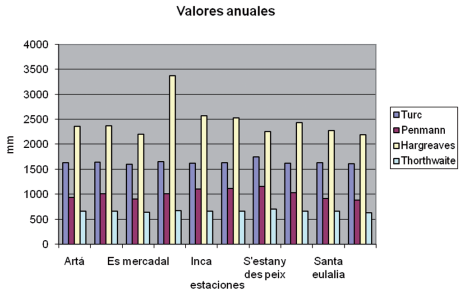


FIG. 4: *Valores mensuales de evapotranspiración en Andalucía.*

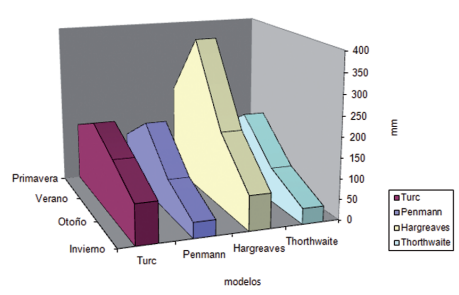


FIG. 5: *Valores estacionales medios de evapotranspiración en Andalucía.*

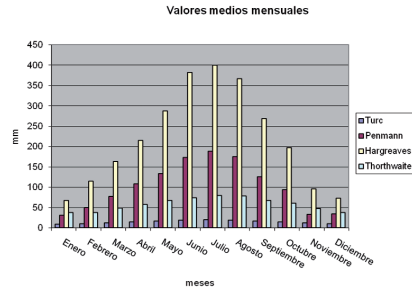


FIG. 6: *Valores mensuales medios de evapotranspiración en Andalucía.*

Realizando el estudio de la distribución de los valores medios estacionales de evapotranspiración se observa que los valores más elevados se localizan para la totalidad de las estaciones en la época estival, siguiéndole la primavera, la estación otoñal y finalmente el invierno.

Se observa que los valores de evapotranspiración en verano en los diferentes modelos duplican por cinco aproximadamente los del invierno, siendo un poco más de la mitad los correspondientes a los equinoccios de otoño y primavera.

Estudiando esta misma distribución obtenida mensualmente en función de los rangos de evapotranspiración, considerando los valores medios obtenidos para todas las estaciones tenemos valores bajos entre los 40 y 50 mm de evapotranspiración en los meses de enero, febrero y diciembre. El valor medio total anual mayor obtenido es 2298,14 mm correspondiente a los meses de junio, julio y agosto.

Los resultados de la aplicación de los modelos empíricos en la zona de Castilla-León se muestran en las figuras 7, 8 y 9, donde se representan los valores anuales de evapotranspiración, y los valores medios estacionales y mensuales.

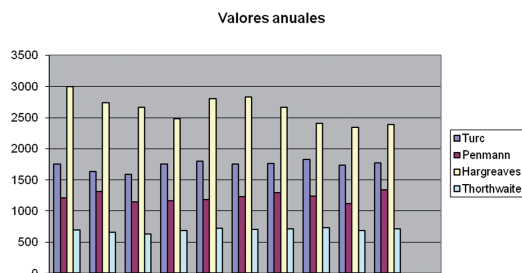


FIG. 7: Valores anuales de evapotranspiración en Castilla-León.

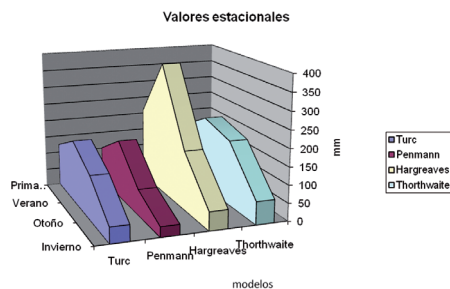


FIG. 8: Valores estacionales medios de evapotranspiración en Castilla-León

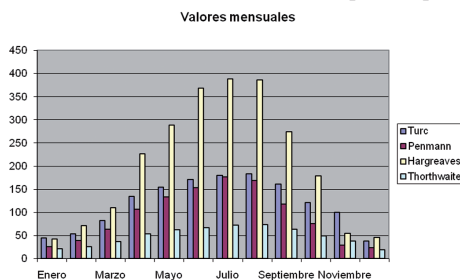


FIG. 9: Valores mensuales medios de evapotranspiración en Castilla-León

El valor medio anual de evapotranspiración en la totalidad de las estaciones estudiadas se encuentra en el rango de 400 a 1300 mm. Los valores mas bajos son los obtenidos por el método Thornthwaite en las estaciones estudiadas en Baleares con 620,5 y 642,8 mm en Andalucía (Córdoba con 616,9 mm; Cádiz con 653,2 mm y Almería con 654,8 mm) y 491,7 mm para Castilla-León (Soria con 495,9 mm y Burgos con 489,3 mm). Se observa que la distribución de los valores más bajos de evapotranspiración coincide en los métodos de Thornthwaite, Hargreaves, Penmann y Turc, localizándose en Baleares en las estaciones de Sóller y Es Mercadal; en Andalucía en Hinojosa del Duque y Bélmez (Córdoba); y para Castilla-León en Valle de Losa y Valle de Valdelucio (Burgos).

Estudiando esta misma distribución mensualmente en función de los rangos de evapotranspiración, y considerando los valores medios totales obtenidos en todas las estaciones tenemos valores bajos entre los 400 y 500 mm de evapotranspiración entre los meses de septiembre a febrero. El valor mayor es de 2121,86 mm correspondiente a los meses de junio, julio y agosto.

La distribución estacional marca una diferencia inferior a 400 mm en Baleares, que comparando con la región de Andalucía en época estival es 5 veces mayor.

| Estacional | Mínimo EVT anual mm | Máximo EVT anual mm | Media EVT anual mm | Media EVT estival mm |
|-------------|---------------------|---------------------|--------------------|----------------------|
| Thorthwaite | 624,3 | 726,7 | 689,8 | 76,6 |
| Hargreaves | 2337,7 | 2991,9 | 2628,1 | 382,4 |
| Turc | 1117,7 | 1331,8 | 1219,9 | 190,0 |
| Penmann | 1585,3 | 1822,4 | 1733,3 | 178,4 |

TABLA 1: Resumen de los valores de Evapotranspiración por los diferentes modelos en Andalucía.

| Estacional | Mínimo EVT anual mm | Máximo EVT anual mm | Media EVT anual mm | Media EVT estival mm |
|-------------|---------------------|---------------------|--------------------|----------------------|
| Thorthwaite | 495,9 | 547,9 | 526,2 | 70,73 |
| Hargreaves | 1458,3 | 2508,8 | 2210,5 | 380,6 |
| Turc | 1195,6 | 1350,3 | 1290,4 | 153,1 |
| Penmann | 777,1 | 1224,8 | 1009,7 | 165,9 |

TABLA 2: Resumen de los valores de Evapotranspiración por los diferentes modelos en Castilla-León.

| Estacional | Mínimo EVT anual mm | Máximo EVT anual mm | Media EVT anual mm | Media EVT estival mm |
|-------------|---------------------|---------------------|--------------------|----------------------|
| Thorthwaite | 632,3 | 708,6 | 665,2 | 74,0 |
| Hargreaves | 2199,9 | 3372,1 | 2457,9 | 341,51 |
| Turc | 1601,3 | 1748,3 | 1643,2 | 179,3 |
| Penmann | 886,2 | 1160,7 | 148,80 | 148,8 |

TABLA 3: Resumen de los valores de Evapotranspiración por los diferentes modelos en Baleares.

Los valores más bajos se han obtenido en todos los casos para los cálculos realizados por el método de Thornthwaite, mientras que por el resto de métodos los valores son bastante similares entre sí, exceptuando los valores estivales máximos obtenidos por el método Hargreaves, pero la evapotranspiración anual para el resto de los métodos se mantienen dentro del mismo rango entre 1200 mm a 3000 mm.

Con el método de Hargreaves se obtienen los valores más marcados tanto para mínimos como máximos. Y aunque según la bibliografía consultada indica que la fórmula de Turc sobreestima los

valores de evapotranspiración, en nuestro caso es con la fórmula de Hargreaves con la que se obtienen los valores más elevados.

Lo mismo ocurre con las máximas y mínimas estacionales. En todos los casos los máximos ocurren en la época estival y los mínimos en la invernal, siendo los valores en los equinoccios bastante similares entre sí.

Para todas las zonas estudiadas el mes donde se obtiene la máxima evapotranspiración estival es el mes de Julio, y en ocasiones el mes de Agosto. No obstante, no existe tanta coincidencia en los mínimos invernales de evapotranspiración, produciéndose estos mínimos en el mes de enero para Thornthwaite y Penman, mientras que para Hargreaves y Turc se producen durante el mes de diciembre, exceptuando algunos casos donde se dan durante el mes de Enero.

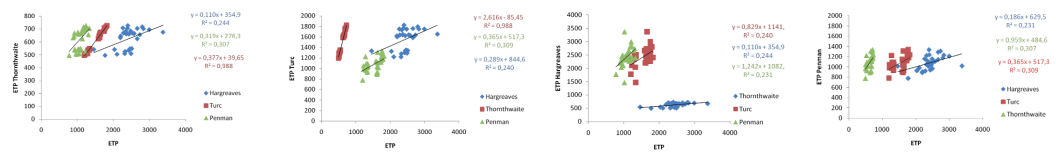


FIG. 10: Correlación entre los valores de evapotranspiración obtenidos por los diferentes modelos.

Se han estudiado las relaciones entre los valores de los diferentes modelos encontrando correlaciones significativas entre los valores de ETP obtenidos por el método de Thornthwaite y Turc, con un r^2 de 0,9 (figura 10) no obteniéndose correlaciones significativas entre el resto de modelos.

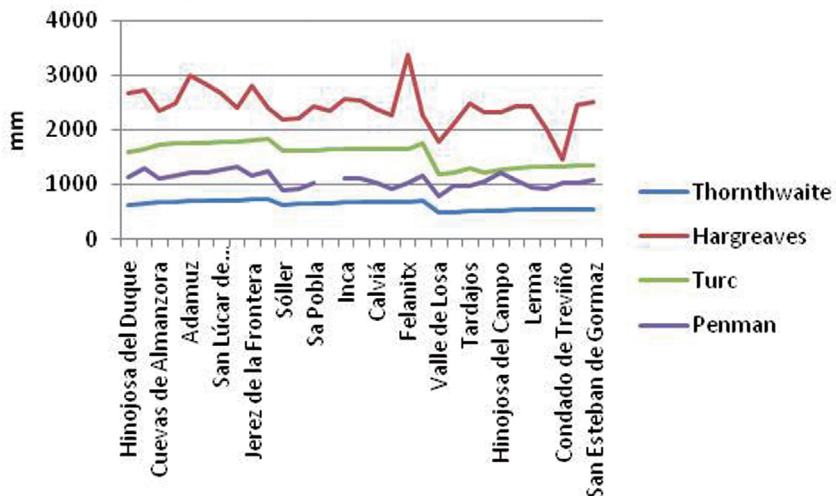


FIG. 11: Representación de los valores totales de evapotranspiración obtenidos por los diferentes modelos.

4. CONCLUSIONES

Los resultados de evapotranspiración en las zonas estudiadas indican que los valores más elevados se localizan en las estaciones de la zona de Andalucía, y los más bajos para las estaciones de Castilla-León causados tanto por el efecto de la latitud como de la altitud de las estaciones.

Entre los métodos aplicados el cálculo de la evapotranspiración por Hargreaves es el que subestima los valores totales de evapotranspiración con respecto al resto. Mientras que con el modelo de Thornthwaite se obtienen los valores más bajos, aunque hemos observado que este método sobreestima los valores la evapotranspiración para los meses de verano obteniéndose proporcionalmente valores superiores a los esperados.

Los resultados del estudio de las relaciones entre los valores obtenidos en los diferentes modelos muestran diferencias considerables en los valores de evapotranspiración. Los resultados obtenidos por los métodos de Turc y Thornthwaite son los únicos que muestran una buena correlación. No obteniendo correlaciones entre los métodos de Penman y Hargreaves como indican algunos autores en otras zonas de estudio.

El método de Hargreaves muestra desviaciones importantes por lo que se sugiere no utilizarlo en estas zonas con sus condiciones edafoclimáticas. Mientras que el método de Penman, recomendado por la FAO dado su mayor exactitud y con mayor número de variables utilizadas, parece el más adecuado, al igual que el modelo de Turc, ambos con buenos resultados para las áreas estudiadas.

REFERENCIAS

- Abdelhadi, A. W., Hata, T., Tanakamaru, T. A. y Tariq, M. A. (2000). Estimation of crop water requirements in arid region using Penman-Monteith equation with derived crop coefficients: A case study in Acala cotton in Sudan Gezira irrigated scheme. *Agric. Water Manage.*, 45(2), 203-214.
- Bautista, F. y Bautista, D. (2009). Calibration of the equations of Hargreaves and Thornthwaite to estimate the potential evapotranspiration in semi-arid and subhumid tropical climates for regional applications. *Atmósfera* 22(4), 331-348.
- Berengena, J. y Gavilan, P. (2005). Reference evapotranspiration estimation in a highly advective semiarid environment. *J.Irrig. Drain. Eng.*, 121(6), 427-435.
- Doorenbos J. y W.O. Pruitt. (1990). *Las necesidades de agua de los cultivos*. Estudio FAO Riego y Drenaje 24. 194 p.
- Fernández, F. (1995). *Manual de Climatología Aplicada*. Editorial Síntesis, S.A., Madrid,
- Gavilan, P., Lorite, I.J., Tornero, S. y Berengena, J. (2006). Regional calibration of Hargreaves equation for estimating reference ET in a semiarid environment. *Agric. Water Manage.*, 81(3), 257-281.
- González del Tánago, M. (2005). *Evapotranspiración*, Unidad Docente de Hidrología, Departamento de Ingeniería Forestal, Universidad Politécnica de Madrid, España.
- Hargreaves, G. H. y Samani, Z. A. (1982). Estimating of potential evapotranspiration. *J. Irrig. Drain. E-ASCE* 108, 223-230.
- Penman. H.L. (1956). Evaporation and introductory survey. *Nether. J. Agric. Sci.* 4: 9-30.
- MARM, 2012. Ministerio de Agricultura y Medio Ambiente. Madrid.
- Monteith J. L. (1964). Evaporation and environment. The state and movement of water in living organisms. *19th Symposium Society of Experimental Biology*. Academic Press. New York, 205-234.
- Xu, C. Y. y Singh, V. P. (2005). Evaluation of three complementary relationship evapotranspiration models by water balance approach to estimate actual regional evapotranspiration in different climatic regions. *J. Hydrol.* 308, 105-121.
- Sánchez, M. I. (1992). Métodos para el estudio de la evaporación y evapotranspiración. *Cuadernos Técnicos Sociedad Española de Geomorfología*, (3): 36-43, España.
- Thornthwaite, C. W. (1948) An Approach toward a Rational Classification of Climate *Geographical Review*, Vol. 38, No. 1. (Jan., 1948), 55-94.
- Turc, L. (1961). Evaluation des besoins en eau d'irrigation, evapotranspiration potentielle, formule climatique simplifiée et mise a jour. *Ann. Agron.* 12. 13-49.